

# Menschliche Problemlösung macht automatisierten Bahnverkehr erfolgreich

## Enabling automatic train operation through human problem solving

Niels Brandenburger | Anja Naumann

**A**utomatisierter Bahnbetrieb auf Vollbahnstrecken geht mit Fragen zur Rolle und der Bedeutung des Triebfahrzeugführers für einen sicheren und pünktlichen Betrieb einher. Dieser Artikel zeigt einen Ansatz auf, wie automatisiertes Fahren auf der Schiene und menschliche Entscheidungsfindung gemeinsam für einen sicheren und effizienteren Bahnbetrieb der Zukunft stehen können. Einer zunehmenden Automatisierung zur Erhöhung des Durchsatzes stehen in diesem Ansatz menschliche Handlungsauswahl und Entscheidungsfindung beiseite, um den Betrieb im offenen Netz zuverlässig zu gewährleisten.

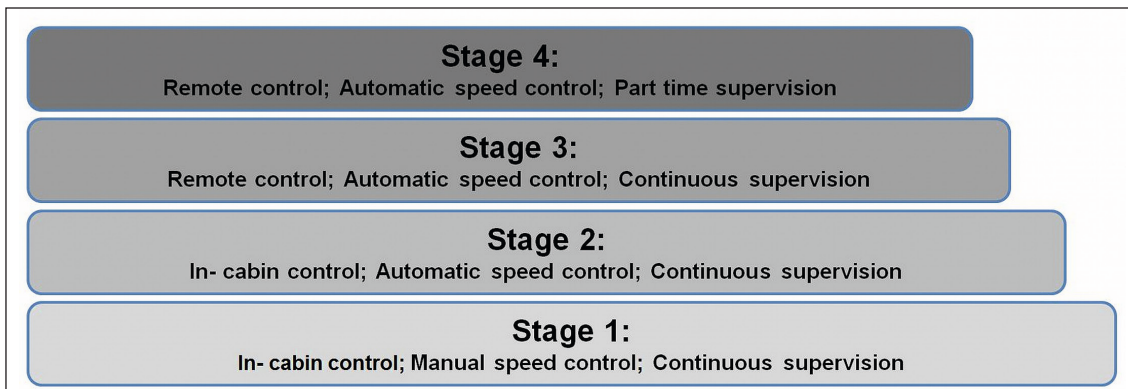
### 1 Gestalten für den Menschen im automatisierten Bahnbetrieb

Aufgrund der Schnelligkeit technologischer Entwicklungen befindet sich unser wirtschaftliches Umfeld im Wandel, beispielsweise in der Finanzwelt, der Produktion und in der Mobilität. Eine Grundlage hierfür bilden sowohl die Digitalisierung von Informationen als auch die Automatisierung von Handlungen, die einen wesentlich Beitrag zur Steigerung von Effizienz leisten können. Über alle Wirtschaftszweige hinweg stellt sich daher die Frage, welchen Platz der Mensch in dieser digitalen Welt einnimmt und wie dem begegnet werden kann, dass der menschliche Faktor zunehmend vielleicht nur noch als eine Quelle unvorhersehbarer Fehler angesehen wird. Insbesondere für den Kontext Bahn, einen Kernbereich der Europäischen Mobilität, setzen wir uns mit dieser Frage in der Abteilung Human Factors am Institut für Verkehrssystemtechnik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR e.V.) auseinander. Grundlage dafür bilden umfangreiche Analysen des Standes der Wissenschaft und eine Serie eigener Laborstudien. Im vorliegenden Artikel stellen wir einen Ansatz vor, wie einzigartige menschliche kognitive Fähigkeiten genutzt werden können, um den Bahnbetrieb im Zusammenspiel mit den Vorteilen einer Automatisierung der Bahn in einem dynamischen Umfeld effizient und sicher zu steuern und aufrechtzuerhalten. Aus unserer Sicht kann damit die Rolle der elektrifizierten Bahn als Transportmittel, sowohl für Güter als auch Passagiere, gegenüber dem Straßenverkehr gestärkt werden. Im Detail beschäftigen wir uns dabei mit der Rolle des Triebfahrzeugführers (Tf) im automatisierten Fernverkehr und damit mit folgenden Fragen: Wie könnte ein wirtschaftlicher und attraktiver Arbeitsplatz des Tf im Bahnsystem der Zukunft aussehen, für welches hohe Ziele in Bezug auf die Erhöhung der Kapazität in den nächsten Jahrzehnten gesteckt sind (bis um rund 50%; siehe Europäische Kommission) [1]? Wie können Tf mit potenziellen zukünftig zugewiesenen Aufgaben umgehen, die nicht unbedingt ihre bisherigen Aufgaben widerspiegeln? Wie sollte ein zukünftiger Arbeitsplatz

**I**n future rail operations, the introduction of automatic train operations on main lines will be accompanied by questions concerning the role of the train driver in delivering a safe and punctual service every day. In this article, we advocate the symbiosis of automatic train operation and human decision-making in order to ensure the safety and efficiency of the service in an automated railway future. Increasing the amount of rolling stock on the tracks by means of automatic train operation while relying on unique human judgement and perception to maintain operations may bring together the best of both worlds.

### 1 Modelling for humans in automated rail operations

Rapid technological development is reshaping the central aspects of our economic environment such as finances, production or transportation by means of the digitalization of information and the automation of actions aimed at constantly increasing efficiency. Throughout all economic sectors, we need to address the question of the place of the human or the human factor in this digital economy or whether the human factor will be reduced to merely a prominent source of unpredictable error. In the context of rail operations as an integral part of European mobility, the Human Factors Department at the Institute of Transportation Systems of the German Aerospace Center (DLR e.V.) is working to address this question based on accumulated scientific insights and a series of experimental studies. We present a case for utilizing unique human cognitive abilities for the management and maintenance of railway operations in a dynamic physical environment, while harvesting the necessary efficiency gains brought about by rail automation at the same time. In this way, we aim to preserve and strengthen the central role of electrified rail transportation in the decades to come; decades in which the role of – traditionally petrol dependent – road traffic for freight and passenger transportation is currently being heavily debated. More specifically, the initial questions we set out to answer were about the role of the train driver in an automated main line railway service. Is there a useful, economically plausible and last, but not least attractive workplace for the train driver in future railway systems which are capable of providing increased capacities by roughly 50 % as envisaged by the European Commission [1]? And if so, will train drivers be able to handle the future tasks assigned to them which will not necessarily resemble the tasks of today? How could a future workplace be designed to facilitate the high performance of train drivers executing their tasks? What skills will be required to become a successful and reliable train driver of the future? In order to



**Bild 1: Mögliche Entwicklung der Rolle des Triebfahrzeugführers**

Fig. 1: Possible stages of the train driver – train interaction

gestaltet sein, um den Tf optimal in seiner Arbeit zu unterstützen? Welche Fertigkeiten wird ein Tf zukünftig benötigen? Um fundierte Antworten auf diese komplexen Fragen geben zu können, besteht unsere Forschungsagenda zu diesem Thema aus mehreren Schritten in den letzten und auch in den kommenden Jahren. Ein erster Schritt bestand in der Analyse politischer Forderungen im Hinblick auf Kapazität und Energieeffizienz als Treiber für technologische Entwicklung. Diese Forderungen beinhalten eine Kapazitätssteigerung um ca. 50 % und eine Erhöhung der Energieeffizienz um 40 % bis 2050 [1]. Da die Netzinfrastruktur begrenzt ist, ist es aus unserer Sicht notwendig, den durch Digitalisierung und Automatisierung zu erreichenden Effizienzgewinn auszureizen, um sich diesen ambitionierten Zielen annähern zu können. In diesem Zusammenhang kann Digitalisierung als eine Voraussetzung für Automatisierung betrachtet werden, da Informationen in einem maschinenlesbaren Format vorliegen müssen, um automatisiert interpretiert und in Handlungen umgesetzt werden zu können. Diese Schlussfolgerungen sind nicht auf das System Bahn beschränkt, daher haben wir auch das bisherige Vorgehen bei der Einführung der Automatisierung in der Luftfahrt, im Schiffsverkehr und im Automobilbereich betrachtet.

Über die Domänen hinweg sind graduelle Stufen von menschlicher manueller Steuerung über menschlich überwachte automatische Steuerung hin zu autonomer automatischer Steuerung erkennbar. Dieser Stufenprozess spiegelt sich zum Teil auch in den sogenannten Automatisierungsgraden (Grades of Automation – GoA) [2] im Bereich Bahn wider. Auf dieser Basis haben wir ein Stufenmodell entwickelt, welches den Einfluss zunehmender Automatisierung auf die Aufgaben des Tf formalisiert darstellt (Bild 1).

provide sound answers to these complex questions, several steps have been taken in recent years and more are still to come. We started out by defining the public demand in terms of capacity and energy efficiency as the drivers of technological development. These demands include capacity increases of around 50 % as well as a 40 % increase in energy efficiency by 2050 [1]. We have concluded that technological advances utilizing efficiency gains from digitalization and automation are likely to be needed to achieve these ambitious goals given the limited track infrastructure. Digitalization can be seen as a prerequisite for automation from this point of view, because information must be available in a machine-readable format in order for it to be automatically interpreted and acted upon. These conclusions are not exclusive to the railway sector and we have therefore analysed the steps taken in the aviation, maritime, and automotive sectors when introducing automation into their operations.

Gradual steps away from manual human control towards automatic control under human supervision and on to autonomous automatic control have become visible across the sectors. This stepwise process is also represented to some extent in the Grades of Automation (GoA) [2] in the railway sector and we have developed a stepwise model which formalizes the impact of increasing automation on the tasks of the train driver (fig. 1). The model of technological development basically defines four stages, which we have qualitatively evaluated in interviews with experienced train drivers [3, 4]. Each consecutive stage represents a further increase in automatic control in combination with the initial need for the train driver to supervise the automatic train operation, which is in turn reduced step by step. Reduced hu-



## WIR KÄMPFEN NICHT MIT DER TECHNIK. WIR BEHERRSCHEN SIE.

Als DB-Q1 Lieferant installieren, optimieren und prüfen wir Ausrüstungsanlagen für den Eisenbahnbetrieb in den Bereichen Signalanlagenbau, Weichenbau, Elektroenergieanlagen und Telekommunikation – bis zur Abnahme.

Dieses Modell technologischer Entwicklung definiert vier Stufen, die qualitativ in Interviews mit erfahrenen Tf evaluiert wurden [3, 4]. Jede Folgestufe stellt eine Erhöhung der Automatisierung der Steuerung dar, wobei die ursprüngliche Notwendigkeit für den Tf, die automatische Steuerung zu überwachen, Stufe für Stufe reduziert wird. Diese reduzierte menschliche Überwachung ermöglicht wiederum eine Erhöhung der physischen Distanz zwischen Mensch und Automation, mit dem Resultat der potenziellen Fernsteuerung automatisierter Züge in den Automatisierungsgraden GoA 3 (begleiteter fahrerloser Zugbetrieb) und GoA 4 (vollautomatischer fahrerloser Zugbetrieb) [5]. Der Ansatz der Fernsteuerung automatisierter Züge wurde parallel auch von der SNCF [6] diskutiert, was die Relevanz unserer aktuellen Forschung verdeutlicht.

Ziel ist dabei, für die verschiedenen Sets von Aufgaben in jeder Stufe sowohl die jeweilig resultierende Leistung des Tf zu bestimmen als auch die erforderlichen Fertigkeiten. Für die Stufen 1 und 2 wurde eine Aufgabenanalyse in Verbindung mit einer Analyse der für die Stufen erforderlichen Fertigkeiten durchgeführt [4]. Im Vergleich zu Stufe 1 (manuelle Steuerung) ist der Tf in Stufe 2 mit der monotonen Aufgabe einer kontinuierlichen Überwachung einer automatischen Zugsteuerung konfrontiert. Dies hat erhöhte Reaktionszeiten bei unerwarteten kritischen Ereignissen [7] zur Folge, wie eine Studie im Führerstandsimulator RailSET zeigt. Ebenso zeigen sich negative physiologische Effekte und erhöhte subjektiv eingeschätzte Müdigkeit über mehrere Arbeitsstunden [8, 9]. Diese negativen Effekte bei der kontinuierlichen menschlichen Überwachung in mittleren Automatisierungsstufen [10] zeigen sich übereinstimmend über die verschiedenen Domänen hinweg [11, 12]. Aus unserer Sicht könnten gerade im System Bahn durch seine Einzigartigkeit im Sinne der Spurbindung und der ausgebauten Netzinfrastruktur diese mittleren Automatisierungsstufen eher übersprungen werden als in anderen Domänen. Dies bietet die Möglichkeit, direkt bei der Implementierung höherer Stufen technologischer Entwicklung und damit höherer Automatisierungsstufen anzusetzen, gerade auch um die ambitionierten Ziele der Effizienzsteigerung durch Automatisierung zu erreichen. Daher siedeln wir unsere aktuellen Arbeiten direkt im Bereich der höheren Automatisierungsstufen an und stellen im vorliegenden Artikel einen Ansatz für einen innovativen Tf-Arbeitsplatz vor, der eine optimale Aufteilung der Aufgaben zwischen Automation und Tf im Hinblick auf den Betrieb und die Fahraufgaben ermöglicht.

## 2 Iterativer Designprozess zur Gestaltung eines innovativen Arbeitsplatzes

Unter der Annahme einer rasch fortschreitenden technologischen Entwicklung und Automatisierung wurde in einem iterativen Designprozess auf Grundlage wissenschaftlicher Erkenntnisse und der Ergebnisse der eigenen experimentellen Studien ein Konzept für einen neuartigen Arbeitsplatz erstellt. Dieses Konzept beinhaltet die Fernsteuerung und -überwachung an sich autonom fahrender Schienenfahrzeuge. Aufgrund des neuartigen Charakters der Aufgaben an diesem Arbeitsplatz wird im Folgenden der Begriff Train Operator (TO) anstatt Triebfahrzeugführer (Tf) verwendet. Der iterative Designprozess zur Erstellung eines plausiblen und realisierbaren Konzeptes für einen TO-Arbeitsplatz besteht aus mehreren Phasen. Auf Basis eines ersten Sets an Aufgaben und eines Gestaltungskonzeptes in einem frühen Stadium wurden zwei Expertenworkshops durchgeführt, um dieses initiale Gestaltungskonzept zu bewerten. In einem nächsten Schritt wur-

man supervision of the automation enables an increased physical distance between the human and the automation, resulting in the remote control of automated trains at GoA 3 (driverless train operation) and GoA 4 (unattended train operation) [5]. The application of the remote control of automated trains has also been discussed in parallel by the SNCF [6], which emphasizes the importance of the current research.

We aim to assess both the train driver performance in each particular setting and the required skills for the different sets of tasks at each stage. We have provided a task analysis for stages one and two in conjunction with an assessment of the skills required for these stages [4]. In contrast to stage one (manual control), the train driver in stage two is confronted with the mono-tonous task of continuously monitoring the automatic control of the train. This resulted in significantly increased reaction times to unexpected critical events [7] in our RailSET high fidelity research simulator and in further negative effects on physiologically and subjectively assessed fatigue over long working hours [8, 9]. These negative effects of continuously monitoring intermediate levels of automation [10] are commonly found across the sectors [11, 12]. We have therefore concluded that the railway sector in particular may be able to circumvent these intermediate levels of automation because of the limited degrees of freedom available to trains and the rather exclusive track infrastructure allocated only to trains. These two characteristics differentiate the railway from other transport sectors and constitute the foundation for the more direct exploitation of efficiency gains through automation. We have therefore aimed at directly implementing the higher stages of technological development and started working towards an innovative workplace for the train driver which allows the optimal allocation of tasks between the automation and the driver in terms of the operation and driver performance.

## 2 An iterative design process to model an innovative workplace

When taking on the higher stages of technological development, we started an iterative design process in order to establish a new workplace based on the available experimental results and scientific insights. This concept of a workplace which remotely controls and supervises autonomously driving rolling stock is the centrepiece of this current article. Due to the nature of the tasks performed at this workplace, we have chosen to use the term train operator (TO) instead of train driver. The iterative design process aimed at developing a feasible concept for a TO workspace included several phases. Starting with an initial set of tasks and an early design concept, we conducted two internal expert workshops in order to evaluate the initial design concept. Next, we rigorously analysed all the tasks of the train driver mentioned in the Deutsche Bahn AG regulations [13] in order to acquire an exhaustive set of tasks to be completed by the TO and we then proceeded to allocating these tasks to either the TO or the automation. The set of tasks allocated to the TO was then analysed on the basis of the information which the TO requires in order to be able to complete these tasks. A second design concept was then developed based on the task allocation, the required information and the results from the workshops. We will elaborate the different phases in the design process in the following paragraphs.

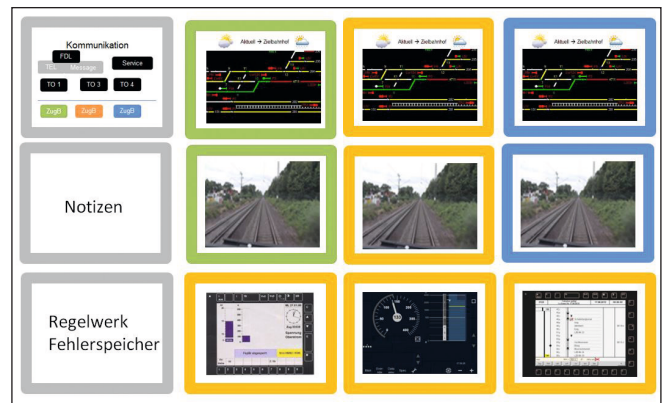
### 2.1 The initial concept for the train operator's workplace

We entered the expert workshops with a rough set of tasks and an initial design concept which is depicted in fig. 2 and 3. We





**Bild 2: Erstentwurf eines Darstellungskonzepts für den TO-Arbeitsplatz (1)**  
Fig. 2: The initial display design concept (1)



**Bild 3: Erstentwurf eines Darstellungskonzepts für den TO-Arbeitsplatz (2)**  
Fig. 3: The initial display design concept (2)

den alle in den Konzernrichtlinien der Deutschen Bahn AG [13] beschriebenen Aufgaben des Tf analysiert, um ein umfassendes Verständnis darüber zu erlangen, welche Aufgaben generell von einem TO übernommen werden müssten, um dann zu entscheiden, welche Aufgaben eher der Automation und welche eher dem TO zugewiesen werden sollten. Die dem TO zugewiesenen Aufgaben wurden dann weitergehend daraufhin analysiert, welche Informationen der TO benötigt, um diese Aufgaben zu erfüllen. Auf Basis der Aufgabenzuweisung (Verortung bei Automation oder TO), der benötigten Informationen und der weiteren Workshop-Resultate wurde dann ein zweites Gestaltungskonzept entwickelt. Im Folgenden sollen die einzelnen Phasen des Design-Prozesses näher beschrieben werden.

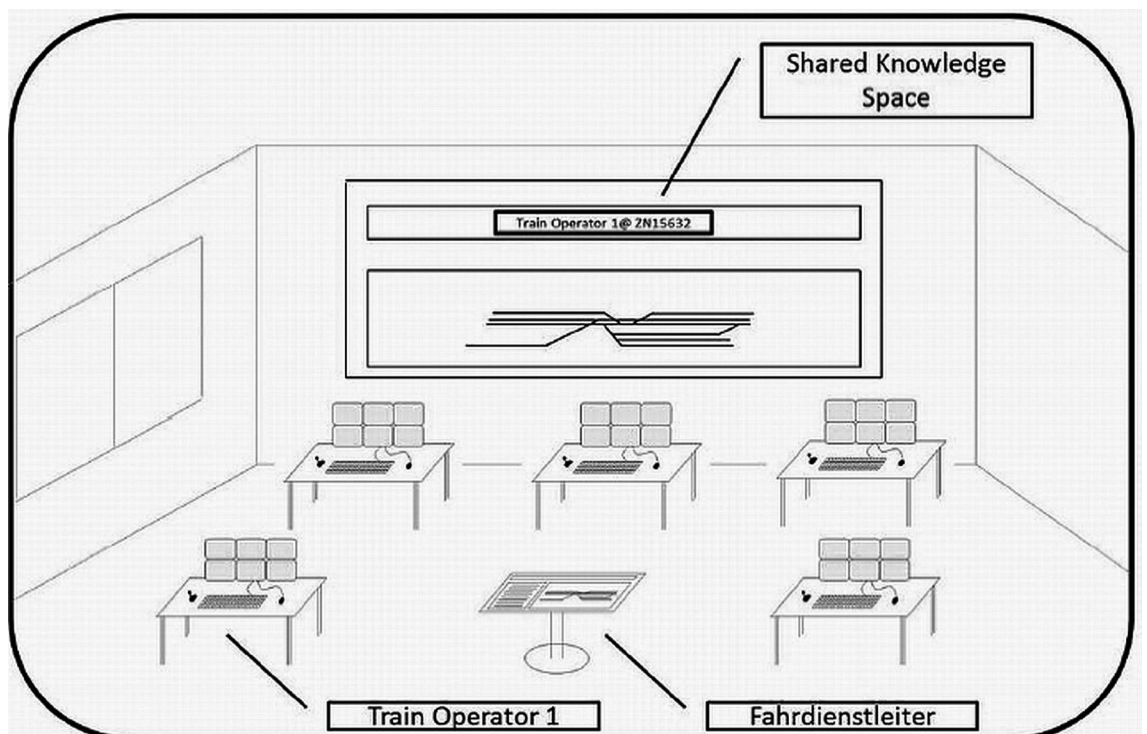
## 2.1 Initiale Grundlagen des Gestaltungsprozesses

Als Diskussionsgrundlage in den Expertenworkshops dienten ein erstes Set an Aufgaben und ein frühes Gestaltungskonzept für den TO-Arbeitsplatz, welches in Bild 2 und 3 dargestellt ist. Als Hauptaufgaben des TO wurden identifiziert: die Überwachung kritischer

identified the supervision of the critical phases of train travel (i. e. braking at a crowded platform), the resumption of manual control in the case of any uncertainty about the state of the train and malfunction mitigation as the key tasks for the TO. Fig. 4 [5] depicts a schematic control room from which several TO may remotely oversee automatic trains within a certain area of operation in conjunction with a signaller, who is responsible for the given area of operation. As well as the display at the individual workplace, a shared knowledge space is envisioned on the wall to convey the positions and relevant operational information to all the TO. The main idea behind the TO concept is the idea of supervision and control on demand. A TO is only requested to oversee the situation, if the automatic trains detect a possibly dangerous irregularity. The reasoning behind the idea has been described earlier in more detail [5]. The individual displays show crucial information on a particular train's identity, speed requirements, schedule, live stream camera video and the technical diagnosis of the on-board systems. The initial design approach included the

**Bild 4: Schematische Darstellung der Arbeitsumgebung des Train Operators**

Fig. 4: The schematic control room setting for train operator teams. "Fahrdienstleiter" means signaller



Phasen einer Zugfahrt (z.B. Bahnhofseinfahrt und Bremsen an einem überfüllten Bahnsteig) und die manuelle Übernahme der Steuerung bei Unsicherheiten über den Betriebszustand eines Zuges sowie zur Störungsbehebung. In Bild 4 [5] ist schematisch die mögliche Verortung eines TO-Arbeitsplatzes, z.B. in einer Betriebszentrale, dargestellt. Mehrere TO überwachen dabei automatisch fahrende Züge innerhalb eines bestimmten Streckenabschnittes, gemeinsam mit dem Fahrdienstleiter, der für diesen Streckenabschnitt zuständig ist. Zusätzlich zu der Darstellung des zugewiesenen Streckenabschnittes auf dem Display zeigt ein „Shared Knowledge Space“ (SKS – gemeinsame Wissensbasis) auf einer Panoramawand dem gesamten Betriebspersonal ein einheitliches Lagebild der aktuellen Betriebssituation. Die grundlegende Idee hinter dem Konzept des TO ist die einer situativen Fernsteuerung im Bedarfsfall. Nur wenn der automatisch fahrende Zug eine potenziell kritische Situation feststellt, wird der TO aufgefordert, diese Situation zu überwachen. Eine ausführliche Herleitung dieser Idee findet sich in [5]. Der individuelle Bildschirm des TO zeigt die für ihn relevanten Informationen, wie z.B. Zugnummer, Geschwindigkeitsvorgaben, Fahrplan, Echtzeit-Video und technische Diagnose des bordseitigen Systems. Der initiale Gestaltungsentwurf beinhaltete die Möglichkeit, dass jeder TO bis zu drei Züge gleichzeitig auf seinem Bildschirm überwachen kann (Bild 2 und 3). Diese Option wurde im Laufe des weiter beschriebenen Entwicklungsprozesses in den Expertenworkshops verworfen.

## 2.2 Expertenworkshops

Auf Basis dieses ersten Gestaltungskonzeptes wurden zwei Expertenworkshops durchgeführt. Insgesamt nahmen zehn Expertinnen und Experten aus den Bereichen Betriebsplanung, Bahnbetrieb, Instandhaltung, Triebfahrzeugführung, Interface-Design, Human Factors und Bahntechnik teil. Die Workshops bestanden aus jeweils drei Phasen, in welchen die Teilnehmer: A) Kernaufgaben und für eine Fernsteuerung von Zügen wichtige Informationen zusammengetragen, B) den ersten Gestaltungsentwurf hinsichtlich Strukturierung der Bildschirmdarstellung, Logik und bereitgestellter Information bewertet und C) Ideen und Skizzen für eine Verbesserung des initialen Konzeptes generiert haben. Phase A resultierte in einer ausführlichen Liste spezifischer Aufgaben und Anforderungen an Informationen für den TO, die im weiteren Entwicklungsprozess umgesetzt werden sollten. Ergebnis der Phase B war unter anderem das wichtige Fazit, dass es unbedingt der Klärung bedarf, wer eigentlich für die Zugfahrt im jeweiligen Moment zuständig ist. Mehrere Experten merkten an, dass die Aufgabe der visuellen Überwachung eines automatisch gesteuerten Zuges letztlich ein nicht sicherer Betriebszustand ist, der zu Unklarheiten sowohl in der Verantwortlichkeit als auch im Überblick über die Betriebssituation (sog. Situationsbewusstsein) führt. Daher beinhalten die weiteren Iterationen des Gestaltungskonzeptes nur zwei Kernaufgaben für den TO: manuelle Übernahme eines Zuges auf Anfrage und Störungsbehebung. Da die reine Überwachungsaufgabe verworfen wurde, musste auch die Möglichkeit einer gleichzeitigen Bearbeitung mehrerer Züge verworfen werden. Grund hierfür ist, dass eine simultane manuelle Steuerung mehrerer Züge durch einen TO realistischere nicht ausführbar ist und auch zu hochkritischen Einbußen im Situationsbewusstsein des TO führen würde. Daher wird im weiteren Entwicklungsprozess von einem Eins-zu-eins-Ansatz „ein TO – ein Zug“ ausgegangen. Die Experten waren sich einig, dass Bahnbetreiber zukünftig individuell festlegen können, ob potenziell kritische Situationen (wie z.B. Einfahrt in einen Haltepunkt oder Bahnhof) manuell oder automatisch gesteuert werden. Die Diskussion in Phase C warf hauptsächlich Fragen in Bezug auf die Verortung der Aufgaben

possibility of each TO overseeing up to three trains on the displays at the workplace simultaneously (fig. 2 and 3). This possibility was dismissed during the later stages of the iterative design process described hereafter, particularly after the discussions in the expert workshops.

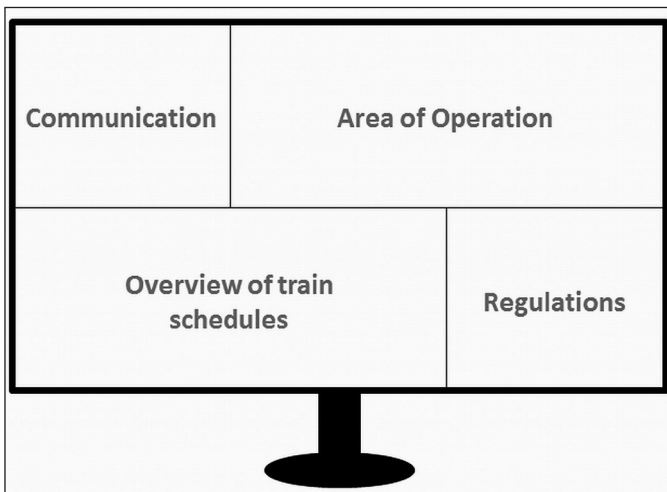
## 2.2 The expert workshops

Expert workshops were conducted with regard to these rough design concepts. A total of ten experts from the fields of railway planning, operations, maintenance, driving, user-interface design, human factors and railway technology participated in two workshops. The workshops consisted of three phases in which the participants A) aggregated the crucial tasks and the necessary information for remotely controlling a train, B) were confronted with our initial design and asked to evaluate the design in terms of the display, the logics and the provided information and C) generated ideas and sketches on how to overcome the identified shortcomings in the initial design concept. Phase A resulted in an extensive list of specific tasks and information requirements for the TO which proved valuable for the redesign. Amongst other things, the main conclusion from phase B was that there is a central need for clarification as to who is actually responsible for the train travel at a particular moment. Many experts voiced the opinion that the task of visually monitoring a train which is still automatically controlled is in fact an insecure state of operation which may diffuse responsibility and situation awareness. Therefore latter design iterations included only two core tasks for the TO: manual takeover on demand and malfunction mitigation. Given that the supervisory task had been dropped, simultaneous manual control of different trains became unfeasible and potentially harmful to the situation awareness. Thus, latter design concepts were based on a “one TO – one train” paradigm. It was agreed that operating companies can individually regulate whether potentially critical manoeuvres (i.e. station entry) are to be controlled manually or automatically. The discussions in phase C mainly raised questions concerning the allocation of tasks in very specific operational situations. Thus, we decided to base our next iteration of the task allocation on the current version of the Deutsche Bahn AG regulations [13] in order to provide an exhaustive list of tasks and situations. In addition, an intense discussion on the possible absence of any staff in an automated passenger train resulted in the conclusion that, in contrast to already existing closed urban transport systems (e.g. Copenhagen or Nuremberg), a member of staff should be present on mainline passenger trains because of the distances covered by the trains, but this was not required in freight operations.

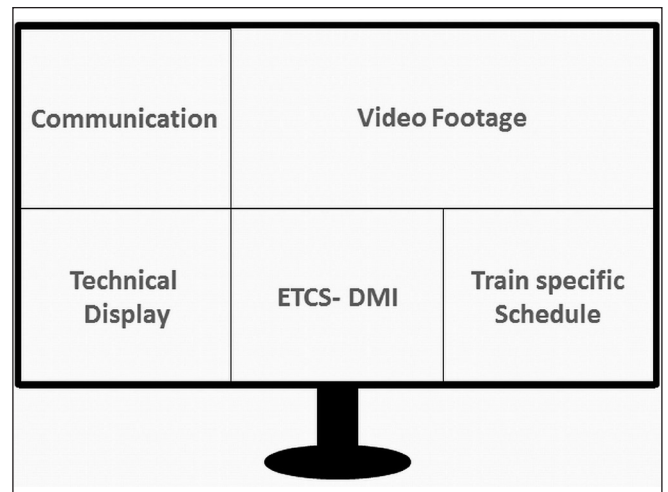
## 2.3 Task analysis and redesign

An analysis of the regulations resulted in the identification of 73 tasks for which the train driver is currently responsible. By allocating routine tasks of movement control, shunting, on-board diagnosis and standardized communication to the automation domain, we ended up with TO tasks which could be clustered into four categories: manual driving, non-standardized communication, diagnosis and door closure. All these task categories are limited to cases of automation failure. In the next design iteration, the TO workplace was adapted with the aim of enabling optimal task performance in these four task categories. The redesign was based on a “one TO – one train” paradigm and as such the clear separation of responsibility was established and no parallel interfaces for si-





**Bild 5: Entwurf des Darstellungskonzepts für den automatischen Betrieb**  
Fig. 5: The display concept for the automatic mode



**Bild 6: Entwurf des Darstellungskonzepts für den manuellen Betrieb**  
Fig. 6: The display concept for the manual mode

bei Mensch oder Automation in verschiedenen Betriebssituationen auf. Daher wurde entschieden, im nächsten Iterationsschritt des Entwicklungsprozesses, in Bezug auf die Zuweisung der Aufgaben, die aktuellen Konzernrichtlinien der Deutsche Bahn AG [13] heranzuziehen, um zunächst eine vollständige Liste von Aufgaben und Betriebssituationen zu erhalten. Weiterhin entbrannte eine intensive Diskussion über die potenzielle Abwesenheit jeglichen Personals in automatisiert fahrenden Personenzügen. Als Schlußfolgerung ergab sich hier, dass, im Gegensatz zu bereits existierenden automatisierten geschlossenen Transportsystemen (z.B. Kopenhagen oder Nürnberg), im Personenfernverkehr aufgrund der wesentlich größeren Distanzen Personal im Zug anwesend sein sollte. Für den Güterverkehr erscheint dies hingegen nicht erforderlich.

### 2.3 Aufgabenverteilung und weitere Designschritte

Aus den DB-Konzernrichtlinien wurden 73 Aufgaben extrahiert, für die der Tf momentan verantwortlich ist. Nachfolgend wurden zunächst Routineaufgaben identifiziert, die der Automation übertragen werden können. Dies sind beispielsweise Regulierung der Geschwindigkeit, Kuppeln, Onboard-Diagnose und standardisierte Kommunikation. Für den TO ergaben sich daraufhin Aufgaben, die in vier Kategorien eingeordnet werden können: manuelles Fahren, Nicht-Standardkommunikation, Diagnose und Türschluss. Alle diese Aufgabenkategorien sind auf Situationen beschränkt, in denen die Automation an ihre Grenzen stößt oder ausfällt. In einem nächsten Iterationsschritt wurde der TO-Arbeitsplatz dahingehend angepasst, dass eine optimale Aufgabenbearbeitung in diesen vier Aufgabenkategorien möglich ist. Die Überarbeitung fand auf der Grundlage des Ansatzes „ein TO – ein Zug“ statt, um eine klare Trennung und dadurch auch deutliche Transparenz im Hinblick auf Verantwortlichkeit zu erreichen. Daher wurde auch keine Bildschirmdarstellung für eine eventuelle simultane Zugüberwachung und -steuerung umgesetzt. Grundsätzlich gibt es zwei Systemzustände. Entweder ist der TO momentan für keinen Zug zuständig und beobachtet kontinuierlich die Übersicht über seinen Streckenabschnitt. Oder der TO steuert einen bestimmten Zug und ist für die Sicherheit dieses Zuges verantwortlich. Auf dieser Grundlage wurden unterschiedliche Gestaltungen der Bedienoberfläche für diese zwei Systemzustände und die zwei Übergänge (manuelle Übernahme des Zuges und Rückgabe in

multaneous train supervision or control were implemented. Basically, there are two system states. Either the TO is not responsible for any train and monitors an overview of the area of operation or the TO controls one particular train and is responsible for this train's safety. Thus, two interfaces for the two system states and two transition interfaces were designed. Fig. 5 depicts the automatic system state where the individual displays of the TO show a zoomable overview, a sched-

## KAGO-Gleisanschlusskasten

Typ  
**GAKSu**

Standardkasten geschlossen

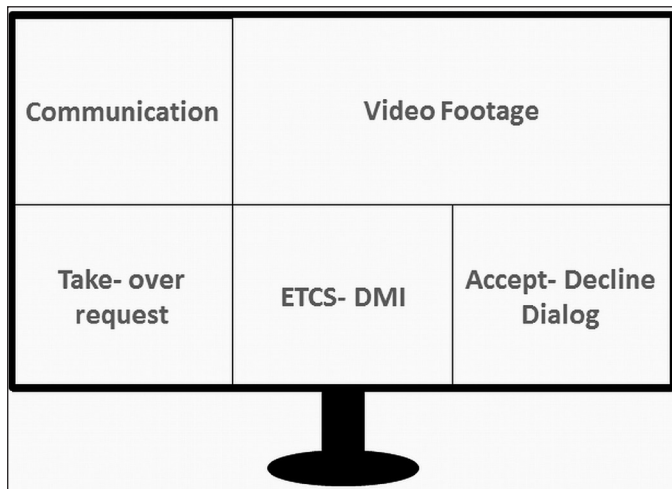
Mit Sammelschiene und Aussenisolation zur Vermeidung von Streuströmen

für elektrische  
Schienenan-  
schlüsse

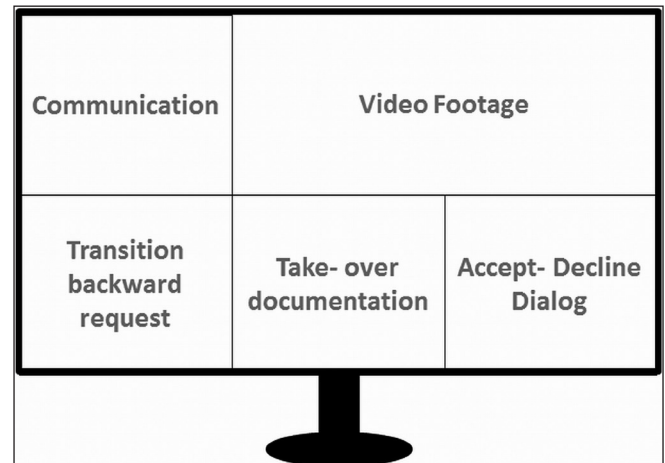
KAGO AG – Schweiz  
Eisenbahntechnik  
info@kago.com

**kaufmann**  
 www.kago.com

metal – electric



**Bild 7: Entwurf des Darstellungskonzepts für einen Anfragemechanismus**  
 Fig. 7: The display concept for the forward transition mode



**Bild 8: Entwurf des Darstellungskonzepts für einen Rückgabemechanismus**  
 Fig. 8: The display concept for the backward transition mode

die Automation) entwickelt. Bild 5 zeigt den automatischen Systemstatus, in dem der Bildschirm des TO eine Übersicht über den Streckenabschnitt (die verkleinert und vergrößert werden kann), den Fahrplan, die den Streckenabschnitt betreffenden Vorschriften und ein Kommunikationsfenster anzeigt. Der TO-Bildschirm im manuellen Systemstatus (Bild 6) zeigt hingegen ein Echtzeitvideo, das Driver Machine Interface (ETCS-DMI), das Maschinentechnische Display (MTD), den Fahrplan (z.B. EBUa) für den betreffenden Zug und den Grund für die anstehende manuelle Übernahme mit der zugehörigen zu bearbeitenden Aufgabe. Bei den Darstellungen der Übergänge wird in einen „Vorwärts-Übergang“ (automatisch zu manuell) und einen „Rückwärts-Übergang“ (manuell zu automatisch) unterschieden. Die Bildschirmoberfläche für den „Vorwärts-Übergang“ (Bild 7) zeigt den Grund für die Aufforderung zur Übernahme, zugspezifische Informationen und bereits ein Echtzeitvideo. Kern dieses Übergangs ist ein expliziter Mechanismus der aktiven Annahme dieses Zuges durch den TO, durch den auch die Verantwortung für den Zug von der Automation an den TO übergeben wird. Wird die Annahme des Zuges durch den TO abgelehnt, wird der Zug automatisch angehalten und der nächste TO wird angefragt bzw. zur Übernahme aufgefordert. Die Bildschirmoberfläche für den „Rückwärts-Übergang“ (Bild 8) zeigt ebenfalls eine Beschreibung der Aufgabe, ein Video und einen Mechanismus zur aktiven Bestätigung der Rückgabe der Verantwortung an die Automation. Des Weiteren ist der TO aufgefordert, die initiierten Handlungen und Ergebnisse im Sinne der betrieblichen Transparenz und der Nachverfolgbarkeit der Betriebssituation zu dokumentieren. Zusätzlich ist die gemeinsame Wissensbasis (Shared Knowledge Space) auf der Panoramawand permanent sichtbar. Diese Übersicht zeigt den gesamten Streckenbereich zusammen mit Wetterinformationen, Betriebssituation und aktuellen Übernahmeaufforderungen und stellt damit sicher, dass der TO über die Positionen und die Reihenfolge der Züge stets im Bild ist und damit ein hohes Situationsbewusstsein aufrecht erhalten werden kann, um im Störfall schnell und angemessen reagieren zu können.

### 3 Ausblick

Momentan wird das überarbeitete Gestaltungskonzept für den TO-Arbeitsplatz am DLR e.V. in Braunschweig prototypisch um-

geleitet. Die Übergänge werden mit spezifischen Regelungen für den Bereich der Operation und der Kommunikation dargestellt. Die einzelnen Displays im manuellen Systemstatus (Bild 6) zeigen Live-Stream-Video oder zusätzliches Video-Material, das Fahrer-Maschinen-Schnittstelle (ETCS-DMI), das technische Display (MTD) und den Fahrplan für den betreffenden Zug zusammen mit dem Grund für die manuelle Übernahme und der Aufgabe. Die Übergangs-Schnittstellen unterscheiden sich für Vorwärts- (Automatik zu manuell) und Rückwärts- (manuell zu Automatik) Übergänge. Die Vorwärts-Übergangs-Schnittstelle (Bild 7) zeigt den Grund für die Übernahme, Zug-spezifische Informationen und ein Live-Stream-Video. Der Kern des Übergangs besteht aus einem expliziten Akzeptanzmechanismus, der die Verantwortung von der Automation auf den TO überträgt. Wenn die Akzeptanz abgelehnt wird, wird der Zug gestoppt und eine andere Übernahme wird angefordert. Die Rückwärts-Übergangs-Schnittstelle (Bild 8) zeigt ebenfalls eine Beschreibung der Aufgabe, ein Video und einen Mechanismus zur aktiven Bestätigung der Rückgabe der Verantwortung an die Automation. Des Weiteren ist der TO aufgefordert, die initiierten Handlungen und Ergebnisse im Sinne der betrieblichen Transparenz und der Nachverfolgbarkeit der Betriebssituation zu dokumentieren. Zusätzlich ist die gemeinsame Wissensbasis (Shared Knowledge Space) auf der Panoramawand permanent sichtbar. Diese Übersicht zeigt den gesamten Streckenbereich zusammen mit Wetterinformationen, Betriebssituation und aktuellen Übernahmeaufforderungen und stellt damit sicher, dass der TO über die Positionen und die Reihenfolge der Züge stets im Bild ist und damit ein hohes Situationsbewusstsein aufrecht erhalten werden kann, um im Störfall schnell und angemessen reagieren zu können.

### 3 Future work

At present, the iterated design concept has been built as a prototype workplace at the DLR e.V. in Brunswick in order to compare the performance, fatigue and situation awareness indicators of train drivers in this new work setting with the corresponding indicators assessed in a typical in-cabin setting. These user-tests with train drivers will enable the first evaluation of the designed TO workplace and guide further design iterations. By means of this process, we aim to clarify the roles that humans and automation can successfully play in automatic railway operation, to create a feasible TO workplace ensuring safe and punctual operations and as such to contribute to the development of the competitive and clean transportation of passengers and goods in Europe on the basis of the existing electrified railway infrastructure. ■

gesetzt. Ziel ist es, Leistung, Müdigkeit und Situationsbewusstsein von Tf in dieser neuen Arbeitsumgebung mit den entsprechenden Maßen zu vergleichen, die in einer traditionellen Führerstands Umgebung (im Führerstands Simulator RailSET) erhoben wurden. Diese Nutzertests mit ausgebildeten Tf stellen eine erste Evaluation des TO-Arbeitsplatzes dar, aus der wiederum Hinweise für eine weitere Optimierung des Gestaltungskonzeptes im nächsten Schritt des iterativen Design-Prozesses abgeleitet werden können. Innerhalb dieses Prozesses möchten wir einen Beitrag zu der Frage leisten, welche Rolle Mensch und Automation im Rahmen des automatisierten Bahnbetriebs jeweils optimal ausfüllen können. Des Weiteren möchten wir einen realisierbaren TO-Arbeitsplatzes gestalten, der einen sicheren und pünktlichen Bahnbetrieb sicherstellt und damit zu einem wettbewerbsfähigen und nachhaltigen Personen- und Güterverkehr in Europa unter Nutzung der bereitstehenden elektrifizierten Bahn-Infrastruktur beitragen.

## LITERATUR | LITERATURE

- [1] European Commission/Europäische Kommission. Weissbuch: Fahrplan zu einem einheitlichen europäischen Verkehrsraum - Hin zu einem wettbewerbsorientierten und ressourcenschonenden Verkehrssystem, Brüssel, 2011
- [2] International Association of public Transport. Metro Automation Facts, Figures and Trends: A global bid for automation: UITP Observatory of Automated Metros confirms sustained growth rates for the coming years. Retrieved from [www.uitp.org/metro-automation-facts-figures-and-trends](http://www.uitp.org/metro-automation-facts-figures-and-trends), 2012
- [3] Brandenburger, N.; Naumann, A.; Jipp, M.: Die Entwicklung der Aufgaben des Triebfahrzeugführers in der Zukunft, SIGNAL + DRAHT 3/2016, S. 37-43
- [4] Brandenburger, N.; Hörmann, H. J.; Stelling, D.; Naumann, A: Tasks, skills, and competencies of future high-speed train drivers. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit. doi:10.1177/0954409716676509, 2016
- [5] Brandenburger, N.; Naumann, A.; Gripenkoven, J.; Jipp, M: Der Train Operator: Situative Fernsteuerung von automatisierten Zügen, EI – Der Eisenbahningenieur 9/2017, S. 13-15
- [6] SNCF: Le train sans conducteur bientôt sur les rails en France. Retrieved from: [http://www.francetvinfo.fr/economie/transport/sncf/sncf-le-train-sans-conducteur-bientot-sur-les-rails-en-france\\_2236131.html](http://www.francetvinfo.fr/economie/transport/sncf/sncf-le-train-sans-conducteur-bientot-sur-les-rails-en-france_2236131.html), 30.11.2017 at 13:47
- [7] Brandenburger, N.; Jipp, M.: Effects of expertise for automatic train operations. Cognition, Technology & Work, 1(6), 59. doi:10.1007/s10111-017-0434-2, 2017
- [8] Spring, P.; McIntosh, A.; Baysari, M.: Counteracting the Negative Effects of High Levels of Train Automation on Driver Vigilance. HFESA Conference Proceedings, 45, 93-101, 2009
- [9] Brandenburger, N.; Wittkowski, M.; Naumann, A.: Countering Train Driver Fatigue in Automatic Train Operation. In Sixth International Human Factors Rail Conference (pp. 57-65). London, UK, 2017
- [10] Parasuraman, R.; Sheridan, T. B.; Wickens, C. D.: A model for types and levels of human interaction with automation. IEEE Trans Syst Man Cybern Part A Syst Hum, 30, 286-297, 2000
- [11] Onnasch, L.; Wickens, C. D.; Li, H.; Manzey, D.: Human Performance Consequences of Stages and Levels of Automation: An Integrated Meta-Analysis. Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, 56(3), 476-488. doi:10.1177/0018720813501549, 2014
- [12] Dunn, N.; Williamson, A.: Monotony in the rail industry. In HFESA Conference (47th ed.), 2011
- [13] DB Netze: Richtlinie 408.01 – 09. Frankfurt, Germany, 2011

## AUTOREN | AUTHORS

## Niels Brandenburger (M.Sc.)

Wissenschaftlicher Mitarbeiter / Scientific assistant

DLR e.V., Institut für Verkehrssystemtechnik / Institute of Transportation Systems

Anschrift/Address: Lilienthalplatz 7, D-38108 Braunschweig

E-Mail: [niels.brandenburger@dlr.de](mailto:niels.brandenburger@dlr.de)

## Dr. Anja Naumann

Wissenschaftliche Mitarbeiterin / Scientific assistant

DLR e.V., Institut für Verkehrssystemtechnik / Institute of Transportation Systems

Anschrift/Address: Rutherfordstr. 2, D-12489 Berlin

E-Mail: [anja.naumann@dlr.de](mailto:anja.naumann@dlr.de)17 + 18 April 2018 – Stadthalle Braunschweig – [www.rhf-germany.de](http://www.rhf-germany.de)

## Third German Workshop on Rail Human Factors



Triggering  
advanced  
research on  
human factors  
in railways



## Organisers



Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt  
German Aerospace Center



Institut für Eisenbahnwesen  
und Verkehrssicherung  
IfEV  
TU Braunschweig



## Media Partner

